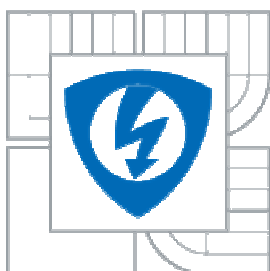




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

# SKLÁDÁNÍ KULOVÉHO PANORAMATICKÉHO SNÍMKU

STITCHING OF FULL SPHERE PANORAMIC IMAGE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

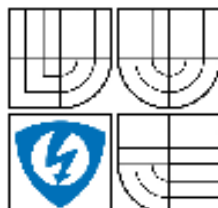
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Michal Vénos**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. KAMIL ŘÍHA, PH. D.**

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

## Semestrální práce

bakalářský studijní obor  
Teleinformatika

**Student:** Michal Vénos  
**Ročník:** 3

**ID:** 106869  
**Akademický rok:** 2009/2010

### NÁZEV TÉMATU:

**Skládání kulového panoramatického snímku**

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte geometrickou podstatu snímání kulového panoramatu pomocí speciální stativové hlavy a softwarového skládání dílčích digitálních snímků do jediného. Cílem práce je návrh aplikace, která umožní implementaci procedury skládání dílčích snímků do jediného.

Doporučené softwarové nástroje pro implementaci jsou Visual C++ a knihovny OpenCV.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GONZALEZ R. C., WOODS R. E.: Digital Image Processing, Prentice Hall, New Jersey, 2002
- [2] BRADSKI G., KAEHLER A.: Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, O'Reilly Media, Inc. USA 2008, ISBN: 978-0-596-51613-0
- [3] PRATA S.: Mistrovství v C++, Computer Press, Brno 2004, ISBN 80-251-0098-7

**Termín zadání:** 9.10.2009

**Termín odevzdání:** 17.12.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Kamil Říha, Ph.D.

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**  
Předseda oborové rady

### UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá skládáním panoramatického obrazu, a to od jeho počátku daného nastavením fotoaparátu a panoramatické hlavičky Manfrotto 303SPH, až po skládání nesnímaných snímků do jednotlivých druhů panoram. V této práci jsou popsány transformace využívané při spojování obrazu, možnosti výpočtu matice homografie ze zadaných bodů korespondence a převod z roviny do cylindrických nebo sférických souřadnic. Součástí je také popis funkcí využívajících knihovnu OpenCV při skládání.

## **Klíčová slova:**

homografie, vstupní pupila, perspektivní projekce, geometrická transformace, homogenné souřadnice

## **Abstrakt**

Bachelor's thesis deals with stitching panoramic image, from its beginning given by setting properties of camera and 303SPH Manfrotto panoramic head, to assembly of images captured in different kinds of scenery. This work describes the transformation used with stitching images, for calculating the matrix homograph from specific points of correspondence and transfer from plane to cylindrical or spherical coordinates. It also includes a description of the functions using the OpenCV library used in the assembly.

## **Keywords**

homography, entrance pupil, perspective projection, geometric transformation, homogeneous coordination's

## **Bibliografická citace**

VÉNOS, M. *Skládání kulového panoramatického snímku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 45s.,  
Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Říha, Ph.D.

## Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Skladanie guľového panoramatického snímku som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tohto projektu som neporušil autorské práva tretích osôb, obzvlášť som nezasiahol nedobolým spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomí následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúceho autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení § 152 trestného zákona č. 140/1961 Sb.

V Brne dňa .....

.....

Podpis autora

## **Pod'akovanie**

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Kamilovi Říhovi, Ph. D. za cenné rady, pripomienky a odbornú pomoc v priebehu jej riešenia.

V Brne dňa .....

.....

Podpis autora

# **OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 MOŽNOSTI ZACHYTENIA PANORAMATICKEJ FOTOGRAFIE</b> .....	<b>10</b>
1.1 PANORÁMA ZACHYTENÁ NA KINOFILM .....	11
1.2 PANORÁMA ZACHYTENÁ POMOCOU DIGITÁLNEHO FOTOAPARÁTU .....	11
<b>2 ZACHYTÁVANIE GULOVEJ PANORÁMY</b> .....	<b>12</b>
2.1 NASTAVENIE FOTOAPARÁTU .....	12
2.2 SKRESLENIE VPLYVOM CHYBY PARALAXY .....	13
2.3 ODSTRÁNENIE CHYBY PARALAXY .....	16
2.4 POSTUP PRI HĽADANÍ VSTUPNEJ PUPILY .....	17
2.5 NASTAVENIE PANORAMATICKEJ HLAVICE MANFROTTO 303SPH .....	18
<b>3 TRANSFORMÁCIE</b> .....	<b>21</b>
3.1 HOMOGENNÉ SÚRADNICE .....	22
3.2 GEOMETRICKÁ TRANSFORMÁCIA .....	22
3.2.1 EUKLIDOVA TRANSFORMÁCIA .....	23
3.2.2 AFÍNNÁ TRANSFORMÁCIA .....	25
3.2.3 PERSPEKTÍVNA TRANSFORMÁCIA .....	26
3.3 GEOMETRICKÁ TRANSFORMÁCIA DISKRÉTNÉHO OBRAZU .....	27
3.4 HOMOGRAFIA .....	28
<b>4 PERSPEKTÍVNA PROJEKCIA</b> .....	<b>30</b>
<b>5 SKLADANIE SNÍMOK DO PANORÁMY</b> .....	<b>32</b>
<b>6 SOFTWAROVÉ SKLADANIE SNÍMOK</b> .....	<b>38</b>
6.1 KOREŠPONDENČNÉ BODY .....	38
6.2 HOMOGRAFIA .....	40
6.3 PERSPEKTÍVNA TRANSFORMÁCIA .....	40
<b>7 ZÁVER</b> .....	<b>42</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>43</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Proces zachytávania valcovej panorámy .....	10
Obr. 1-2 Ukážka zachytávania sférickej panorámy .....	10
Obr. 2-1 Príklad chybnnej expozície medzi jednotlivými snímkami .....	13
Obr. 2-2 Ukážka paralaxe .....	14
Obr. 2-3 Rotácia okolo osi závitú statívu, ktorá sa nachádza približne v mieste koľajničiek pre externý blesk. ....	15
Obr. 2-4 Snímok A .....	15
Obr. 2-5 Snímok B .....	16
Obr. 2-6 Výpočet vstupnej pupily .....	17
Obr. 2-7 Otočenie fotoaparátu okolo vstupnej pupily. ....	18
Obr. 2-8 Pohľad spredu na panoramatickú hlavicu Manfrotto umiestnenú na statív .....	19
Obr. 2-9 Pohľad z boku na hlavicu, s naznačeným posuvom po osi objektívu .....	20
Obr. 3-1 Chyba perspektívy, ktorá sa prejavuje v dôsledku nekonštantnej vzdialenosti objektu od statívu s fotoaparátom. ....	21
Obr. 3-2 Ukážka mapovania $[x, y]$ do $[x', y']$ . ....	23
Obr. 3-3 Rotácia bodu $X [x, y]$ do bodu $X' [x', y']$ okolo počiatku súradnicovej sústavy $[0, 0]$ . ....	24
Obr. 3-4 Skosenie objektu v smere osi $x$ . ....	26
Obr. 3-5 Projektívna transformácia .....	27
Obr. 3-7 Projektívna transformácia medzi obrazmi snímanými fotoaparátom otáčajúcim sa okolo vstupnej pupily. ....	28
Obr. 4-1 Geometrický model dierkovej kamery .....	30
Obr. 4-2 Perspektívne premietanie. ....	31
Obr. 4-3 Perspektívne premietanie v rovine $XZ$ .....	31
Obr. 5-1 Transformovanie snímok do jednej roviny stredného snímku .....	32
Obr. 5-2 Časť panorámy ktorá vznikla posunom snímok. (Obrázok vznikol v editačnom prostredí Photoshop prekryvom vrstiev) .....	33
Obr. 5-3 Panoráma ktorá vznikla perspektívnou projekciou .....	34
Obr. 5-4 Výpočet $r = F$ pri danej šírke snímku. ....	35
Obr. 5-5 Projekcia bodu $P$ na povrch valca .....	35
Obr. 5-6 Priesečník kruhu a úsečky v rovine $XZ$ . ....	36
Obr. 6-1 Korešpondenčné body, zadané pomocou funkcie mouse. ....	39
Obr. 6-2 Výsledný obrázok ktorý vznikol perspektívnou transformáciou druhého obrázku, a jeho prekrytím prvého obrázku. ....	41



## ÚVOD

Pod pojmom panoráma si môžeme predstaviť širokouhlý výrez pozorovanej krajiny, alebo sveta okolo nás v ktorom je obsiahnutý väčší záber scény. O zachytenie panorámy sa snažili už maliari, v súčasnosti však nadobúda panoráma obľubu hlavne vo fotografii.

Oproti klasickej fotografii nastáva zmena v pomere strán fotografie, pri klasickej fotografii je pomer strán 3:2, alebo 3:4 pri panoramatickej fotografii je tento pomer viac podlhovastý s širokouhlejším záberom na scénu.

Očami sme schopný zachytiť zorné pole o veľkosti zorného uhla približne  $200 \times 135^\circ$ , fotoaparát nám však umožňuje zachytiť zorné pole len o veľkosti približne  $50 \times 35^\circ$  (pri základnom ohnisku), pri použití panorámy sme schopní zachytiť priestor o veľkosti zorného poľa až  $360 \times 180^\circ$ . Pomocou panorámy, môžeme teda zobraziť fotografovanú scénu ktorá sa viac podobá svetu ako ho vidíme v skutočnosti. Nie sme obmedzení uhlom záberu ktorý nám poskytuje objektív.

V tejto bakalárskej práci som sa zaoberal štúdiom snímania guľovej panorámy a nastavením panoramatickej hlavice Manfrotto 303SPH určenej k jej snímaniu. Ďalším krokom bolo naštudovanie matematických postupov, ktoré sú používané pri jej následnom softwarovom skladaní.

Cieľom prvej kapitoly je priblížiť možnosti snímania panorámy na kinofilm, a pre môj účel zaujímavejšie digitálne médium.

Kapitole druhá popisuje nastavenia fotoaparátu, možné chyby vyskytujúce sa pri snímaní panorámy. Taktiež je tu postup ako nastaviť panoramatickú hlavicu pred snímaním, aby sa pri snímaní otáčala okolo vstupnej pupily.

V tretej kapitole sú popísané geometrické transformácie a výpočet homografie, ktorý umožňuje skladanie jednotlivých snímok.

V kapitole štyri je popísaný matematický model kamery s výpočtom perspektívnej projekcie.

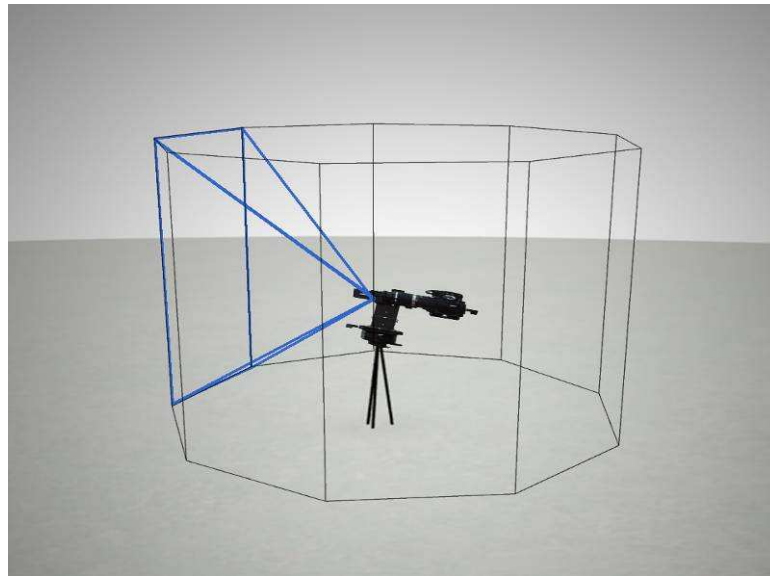
Kapitola piata sa zaoberá možnosťami skladania panorámy, uskutočnené v rovine, alebo pomocou prevodu na cylindrické alebo sférické súradnice.

V kapitole šesť sú priblížené funkcie knižnice OpenCV ktoré boli použité v navrhutej aplikácii pri skladaní snímok.

## 1 MOŽNOSTI ZACHYTENIA PANORAMATICKEJ FOTOGRAFIE

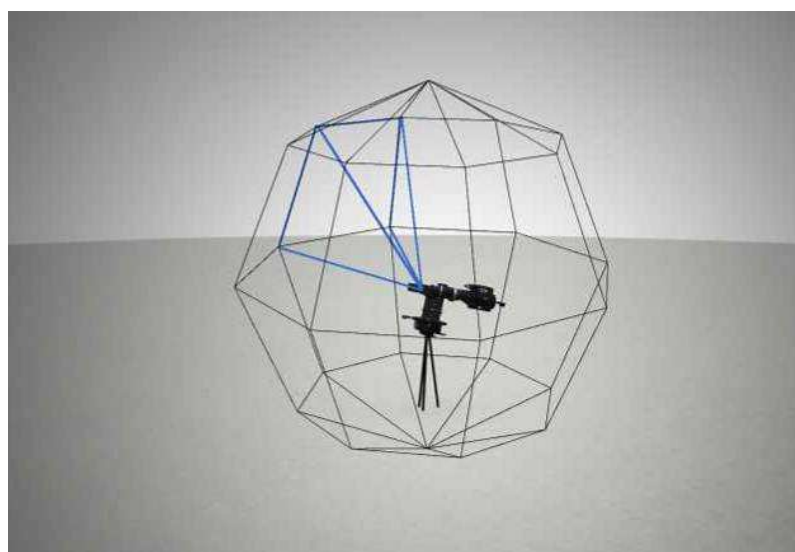
Poznáme 2 typy panoramatickej fotografie:

- a) Cylindrická (valcová) panoráma zachytáva priestor v uhle  $360^\circ$  čo sa šírky týka. Výslednú fotku môžeme na konci spojiť a vytvoriť nekonečný pás.



*Obr. 1-1 Proces zachytávania valcovej panorámy*

- b) Sférická (gul'ová) panoráma umožňuje zachytiť priestor až  $360^\circ$  v horizontálnej rovine, a  $180^\circ$  vo vertikálnej rovine. Na rozdiel od cylindrickej panorámy tu máme zachytený obraz ktorý nie je ochudobnený ani o vrchlík ani o podstavu. Výsledná sférická panoráma nám dovoľuje najvernejšie zachytiť pozorovanú scénu.



*Obr. 1-2 Ukážka zachytávania sférickej panorámy*

## 1.1 Panoráma zachytená na kinofilm

Na kinofilm je možné zachytávať valcovú panorámu priamo pomocou špeciálneho fotoaparátu , alebo ju vytvoriť ručným skladaním jednotlivých snímok. Panoramatické kinofilmové fotoaparáty je možné rozdeliť na 2 skupiny:

1) Fotoaparáty zachytávajúce panorámu pomocou širokohlého objektívu na film širokohlého formátu. Medzi tieto fotoaparáty patrí napríklad: Hasselblad XPan

2) Fotoaparáty využívajúceho otáčavého pohybu pre dosiahnutie širokohlých záberov. Túto skupinu je možné rozdeliť na 2 časti :

- Fotoaparáty ktoré sa otáčajú celé a synchronnou rýchlosťou posúvajú film vnútri filmovej komory.
- Fotoaparáty ktoré sú statické, ale hýbe sa objektív zľava doprava a obraz sa postupne vykresľuje na film uchytý na polkruhovej ploche: noblex, horizont 202

## 1.2 Panoráma zachytená pomocou digitálneho fotoaparátu

Jedná z možností vytvorenia panoramatickej fotografie je orezanie nasnímanej digitálnej fotografie zhora a zospodu. Čím je dosiahnutý širokohlý vzhľad výslednej fotografie, avšak za cenu zníženia rozlíšenia. Tento postup je možné použiť pri stredo- a veľko-formátových prístrojoch, kde strata rozlíšenia nemusí byť taká významná .

Pri druhom výhodnejšom postupe výsledný panoramatický snímok vzniká zložením viacerých fotografií do jednej výslednej snímky pomocou tzv. zošívania (angl. *stitching*). Pri tomto postupe vzniká výsledný snímok zložením viacerých samostatných snímok zachytávajúcich vybranú scénu, tým pádom má výsledná panoráma niekoľko násobne väčšie rozlíšenie ako jednotlivé fotky.

V tejto kapitole som vychádzal zo zdrojov [1].

## 2 ZACHYTÁVANIE GULOVEJ PANORÁMY

Proces tvorby digitálnej panoramatickej snímky začína v okamihu snímania podkladových snímok, ktoré budú následne zložené pomocou programu do výslednej panorámy. Pri fotografovaní treba dať pozor na to aby sa snímky dostatočne prekrývali. Musia na seba nadväzovať s prekryvom od 20% do 50%, v závislosti od fotografovanej scény. Pri vzdialenej krajine stačí menší prekryv ako pri snímaní blízkych objektov. Veľkosť prekrytia je závislá aj od použitého objektívu a jeho ohniskovej vzdialenosti. Pri objektívoch s ohniskovou vzdialenosťou 50mm (80mm pri prepočte na kinofilm) a vyššie dochádza k menšiemu skresleniu. Pri širokouhlých objektívoch (za širokouhlý je považovaný objektív, ktorého má ohnisková vzdialenosť je menšia ako 20 mm (35mm pri kinofilme)), dochádza k vzniku súdkovitého skreslenia, preto musí byť prekryv jednotlivých snímok väčší, a to 50% a viac.

V tejto kapitole som vychádzal zo zdrojov [1], [3], [4], [5], [14].

### 2.1 Nastavenie fotoaparátu

Pri fotografovaní treba dodržiavať určité pravidlá nastavenia fotoaparátu. Je dôležité, aby nastavenie fotoaparátu ostalo počas celého snímania rovnaké. Odstráni sa tým viacero nepríjemností, ktoré by sa prejavili až pri skladaní. Čiastočne sa tým odstránia nežiaduce prechody medzi jednotlivými snímkami. Tie sa môžu tiež vyskytovať v dôsledku rôznych svetelných podmienok v jednotlivých častiach panorámy (niektoré časti scény sú priamo osvetľované, niektoré sa vyskytujú v tieni). Svetelné podmienky sa môžu meniť aj v priebehu času, keď fotografovanie trvá dlhší časový interval. Prechody vznikajú aj v dôsledku optických chýb objektívu – vinetácie, ktorá spôsobí stmavenie snímku v okrajových častiach.

Pri fotografovaní je výhodné používať statív, obmedzí sa tým vertikálny posun jednotlivých snímok, ten je znázornený na Obr. 5-2. Pri fotografovaní snímok na bakalársku prácu bola použitá panoramatická hlavica Manfrotto 303SPH, kde bol fotoaparát umiestnený vo vertikálnej polohe. V tejto polohe dochádza k menšiemu skresleniu perspektívy.

Pri fotografovaní by mali zostať nemenné hlavne tieto parametre

- vyváženie bielej
- clonové číslo. Je vhodné použiť režim s prioritou clony, alebo manuálny režim
- rýchlosť uzávierky

- ohnisková vzdialenosť a manuálne zaostrovanie (zaostriť pred prvou nasnímanou fotografiou, počas fotografovania ostáva hĺbka ostrosti nemenná)
- Orientácia snímok počas snímania ostáva zachovaná

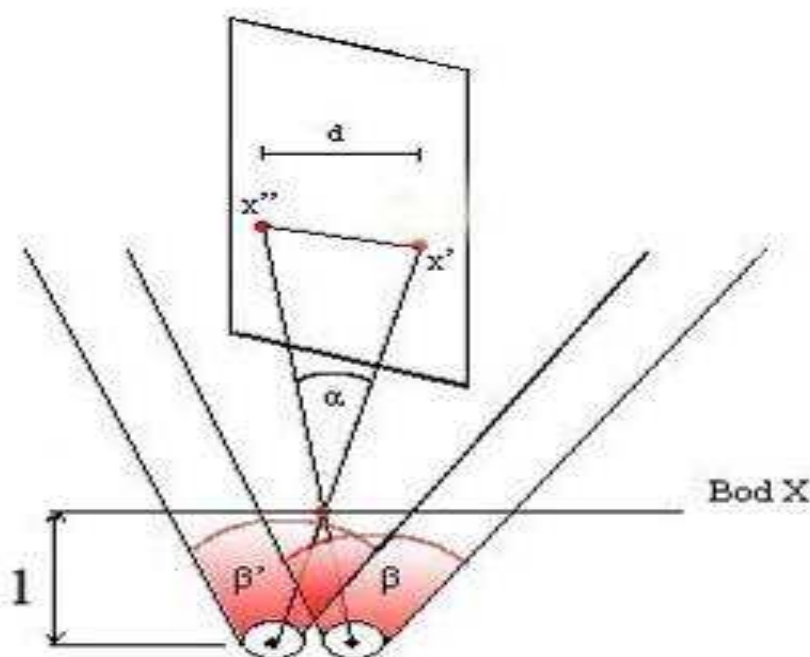
Fotografovať treba bez použitia blesku, a polarizačného filtra.



*Obr. 2-1 Príklad chybnjej expozície medzi jednotlivými snímkami*

## **2.2 Skreslenie vplyvom chyby paralaxy**

„Paralaxa je pojem označujúci uhol, ktorý zvierajú 2 priamky vedúce z 2 rôznych susediacich bodov v priestore k jednému spoločnému bodu (uhol ktorý zvierajú priamky vedúce z našich očí na objekt stojaci v ich zornom poli vid’ Obr. 2-2) .



Obr. 2-2 Ukážka paralaxe

$\beta'$ - je pozorovací uhol ľavého oka                       $\alpha$ - uhol paralaxe

$\beta$ - je pozorovací uhol pravého oka                       $X$ - pozorovaný bod

$x'$ - bod zobrazený na priemetni pozorovaný ľavým okom

$x''$ - bod zobrazený na priemetni pozorovaný pravým okom

$d$  – udáva veľkosť zdanlivého posunu

$l$  – udáva vzdialenosť od očí od bodu  $X$

Pod bodom  $X$  si môžeme predstaviť palec, ktorý dáme do zorného poľa očí. Jeho poloha sa bude meniť pri pohľade len z ľavého, alebo len z pravého oka. Jeho zdanlivá rozdielna poloha sa nazýva chyba paralaxe.

Chybu paralaxe môžeme pozorovať pri snímaní panoramatickej fotografie z ruky, alebo pomocou statívu s kĺbovou hlavicou, pri ktorej je fotoaparát otáčaný okolo osi prechádzajúcej závitom statívu Obr. 2-3. Dochádza k nej vtedy, ak sa na snímanej scéne nachádza objekt stojaci bližšie voči pozadiu. Pri snímaní jednotlivých fotiek, musíme fotoaparát medzi zábermi otáčať. Medzi 2 fotografiami ktoré vznikli pri otočení fotoaparátu, je viditeľná zmena vzdialenosti medzi objektom v popredí a pozadí. Pri sférickej panoráme sa táto chyba vyskytuje nielen pri otáčaní v horizontálnej rovine ale aj vo vertikálnej rovine.



*Obr. 2-3 Rotácia okolo osi závitu statívu, ktorá sa nachádza približne v mieste koľajniček pre externý blesk.*

Pri skladaní panorámy je nežiaduca, prejavuje sa zdvojením objektov, ich rozmazaním(aj napriek tomu že sú statické).



*Obr. 2-4 Snímok A*



*Obr. 2-5 Snímok B*

Snímok A – bol zachytený pri objektíve natočenom doľava, kde vyfarbená časť znázorňuje posun objektu v popredí (dverí)

Snímok B – bol zachytený pri otočení objektívu doprava

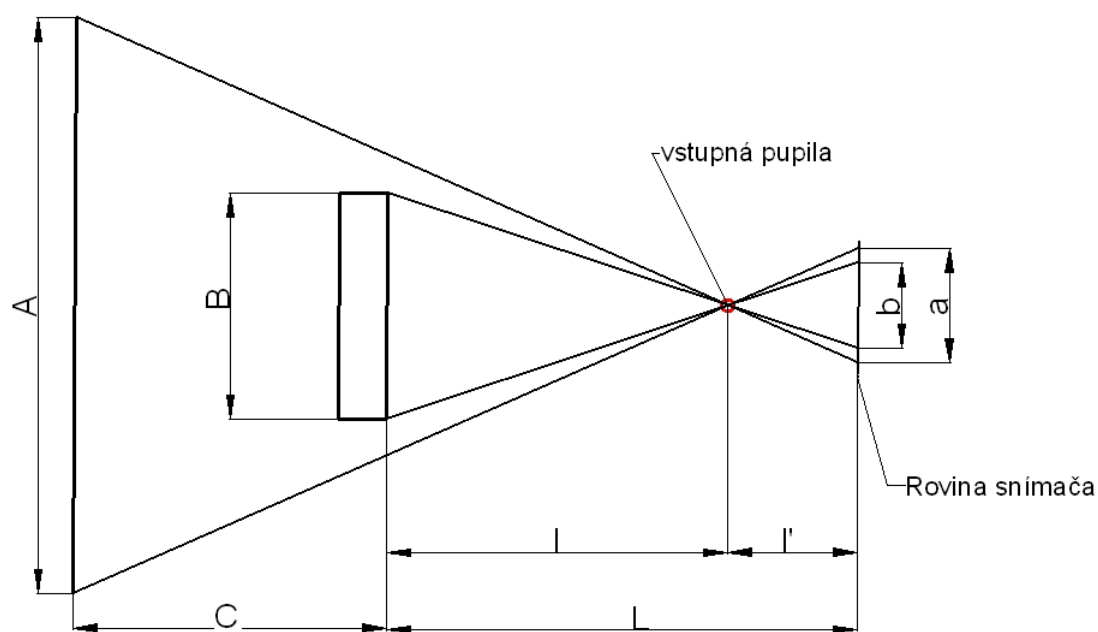
## **2.3 Odstránenie chyby paralaxy**

Chyba paralaxy sa dá odstrániť tak, že fotoaparát sa bude pri snímaní panorámy otáčať okolo bodu ležiaceho na osi objektívu, v mieste kde sa nachádza vstupná pupila. Volaného aj „no-parallax point“. Vstupná pupila je bod nachádzajúci sa na osi objektívu ktorým musia prejsť všetky lúče podieľajúce sa na vykreslení obrazu na snímáči, je to taktiež stred perspektívy. Chybu odstránime umiestnením fotoaparátu na statív s panoramatickou hlavicou, tak aby os otáčania fotoaparátu prechádzala bodom vstupnej pupily. Umiestnenie je znázornené v nasledujúcej časti na Obr. 2-8, Obr. 2-9. Pre objektívy s premenlivou ohniskovou vzdialenosťou, sa poloha vstupnej pupily bude meniť so zmenou ohniska.



## 2.4 Postup pri hľadani vstupnej pupily

Polohu vstupnej pupily je možné vypočítať, pomocou 2 predmetov, ktorých výška je  $A$ ,  $B$ . Stojacich v ose objektívu vo vzdialenosti  $(C+L)$  od snímачa fotoaparátu, kde  $C$  je vzdialenosť predmetu  $A$  od predmetu  $B$  (Obr. 2-6) .



Obr. 2-6 Výpočet vstupnej pupily

$$\frac{B}{b} = \frac{l}{l'} \Rightarrow l' = \frac{bl}{B}, \quad (2-1)$$

$$\frac{A}{a} = \frac{C+l}{l'}. \quad (2-2)$$

Po dosadení (2-1) do (2-2) dostaneme

$$l = \frac{aBC}{Ab - aB}. \quad (2-3)$$

Pre výpočet veľkosti  $a$ ,  $b$  musíme poznať veľkosť snímачa,

$$a = \frac{v_s}{v_o} \cdot v_p, \quad (2-4)$$

kde  $v_s$  je výška snímača,  $v_o$  je výška snímku a  $v_p$  je výška predmetu na zachytenom snímku. Príklad výpočtu je v prílohe. Matematický výpočet umiestnenia vstupnej pupily je veľmi náchylný na presnosť nameraných vzdialeností. V terénne je ľahšie uplatniteľný nasledujúci postup:

Vstupnú pupilu môžeme vidieť pri pohľade do objektívu spredu. Je to svetlé miesto alebo disk, ktorým prechádza svetlo z hľadáča. Pri zmene ohniskovej vzdialenosti, alebo ostrení môžeme vidieť jeho pohyb. S pomocou priestorového videnia môžeme ľahko nájsť jeho umiestnenie, pohybom prsta po boku objektívu, v momente keď sa ich vzdialenosť bude zdať rovnaká.



*Obr. 2-7 Otočenie fotoaparátu okolo vstupnej pupily.*

Okolo tohto bodu bude otáčaný fotoaparát, aby pri fotografovaní nedochádzalo k vzniku chyby paralaxy.

## **2.5 Nastavenie panoramatickej hlavice Manfrotto 303SPH**

Panoramatická hlavica umožňuje umiestnenie fotoaparátu tak, aby sa pri snímaní panorámy otáčal okolo vstupnej pupily vid' Obr. 2-7.

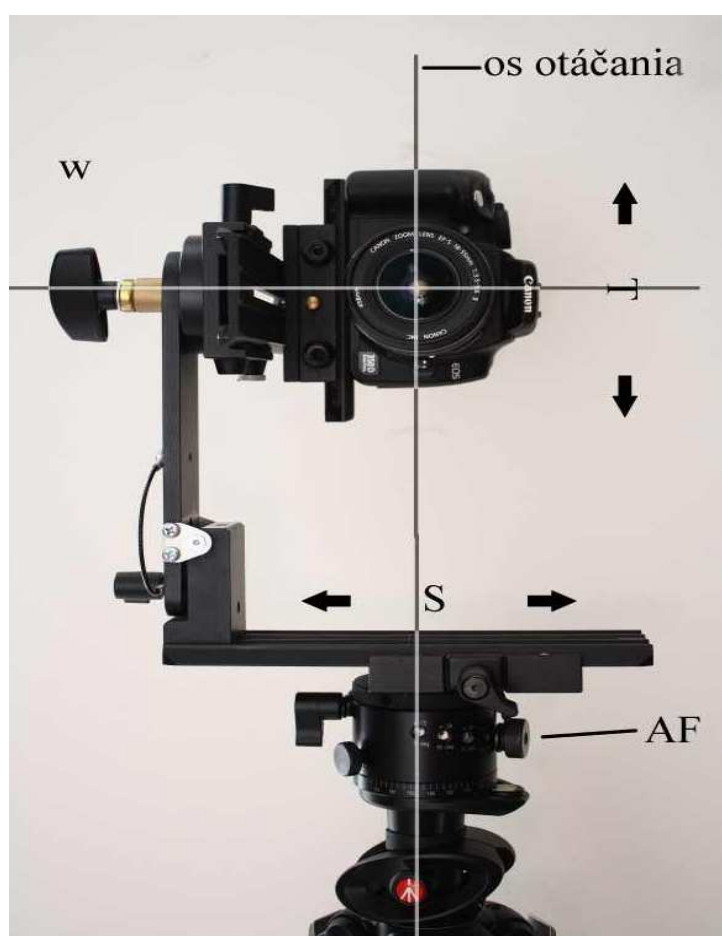
### **Panoramatická hlavica Manfrotto sa skladá:**

Rotačná časť ktorá umožňuje otáčanie celej hlavice v horizontálnej rovine o nastavený uhol, vid' Tab. 2-1.

Uhol otočenia	90°	60°	45°	36°	30°	24°	20°	15°	10°	5°
Počet krokov	4	6	8	10	12	15	18	24	36	72

Tab. 2-1 Počet otáčok hlavice pri nastavenom uhle otáčania

Nastavenie uhlu prebieha pomocou skrutky AF zaskrutkovanej do príslušného otvoru. Rotácia vo vertikálnom smere je umožnená po uvoľnení skrutky W. Na hlavici sú umiestnené 3 platničky, každou je možné hýbať individuálne, umiestnené sú každá do samostatnej aretačnej stanici.



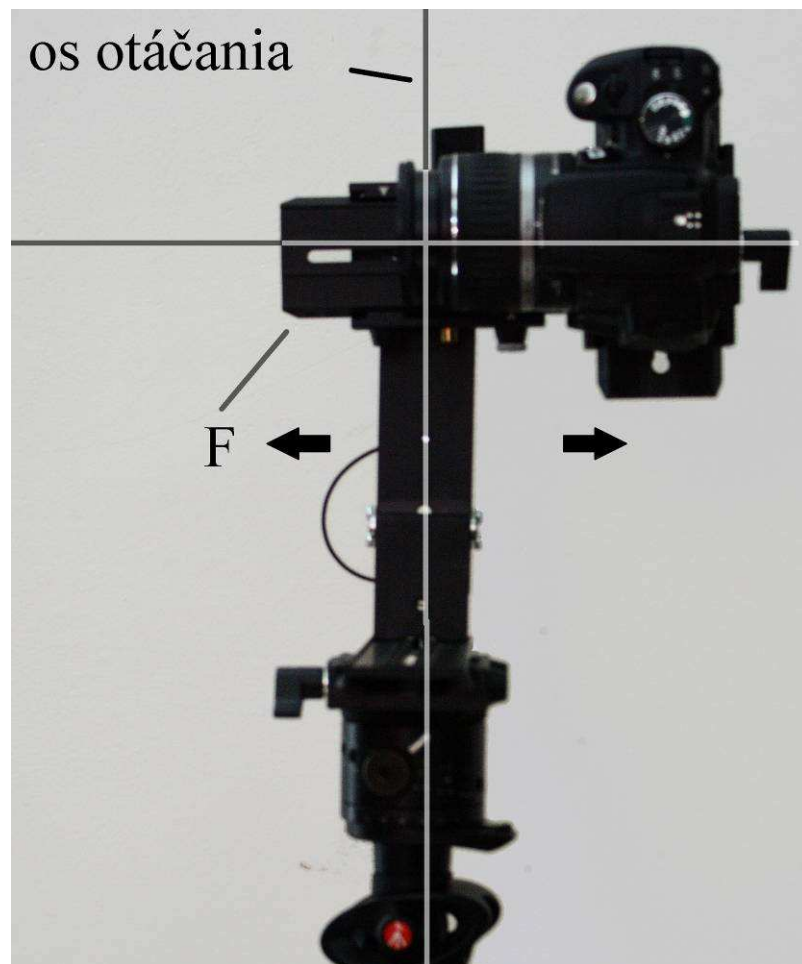
Obr. 2-8 Pohľad spredu na panoramatickú hlavicu Manfrotto umiestnenú na statív

Pred umiestnením hlavice na statív a použitím hlavice je nutné statív vyrovnať do vodorovnej polohy pomocou vodováhy, ktorá sa obvyčajne nachádza na statíve.

Fotoaparát priskrutkujeme na platničku T, do stredu na nej vyznačenom, tak aby os objektívu prechádzala kolmo na platničku. Platnička S umožňuje nastaviť umiestnenie

vstupnej pupily do osi otáčania, posuvom vo vodorovnom smere. Jej umiestnenie je vyznačené na centrálnej aretačnej stanici.

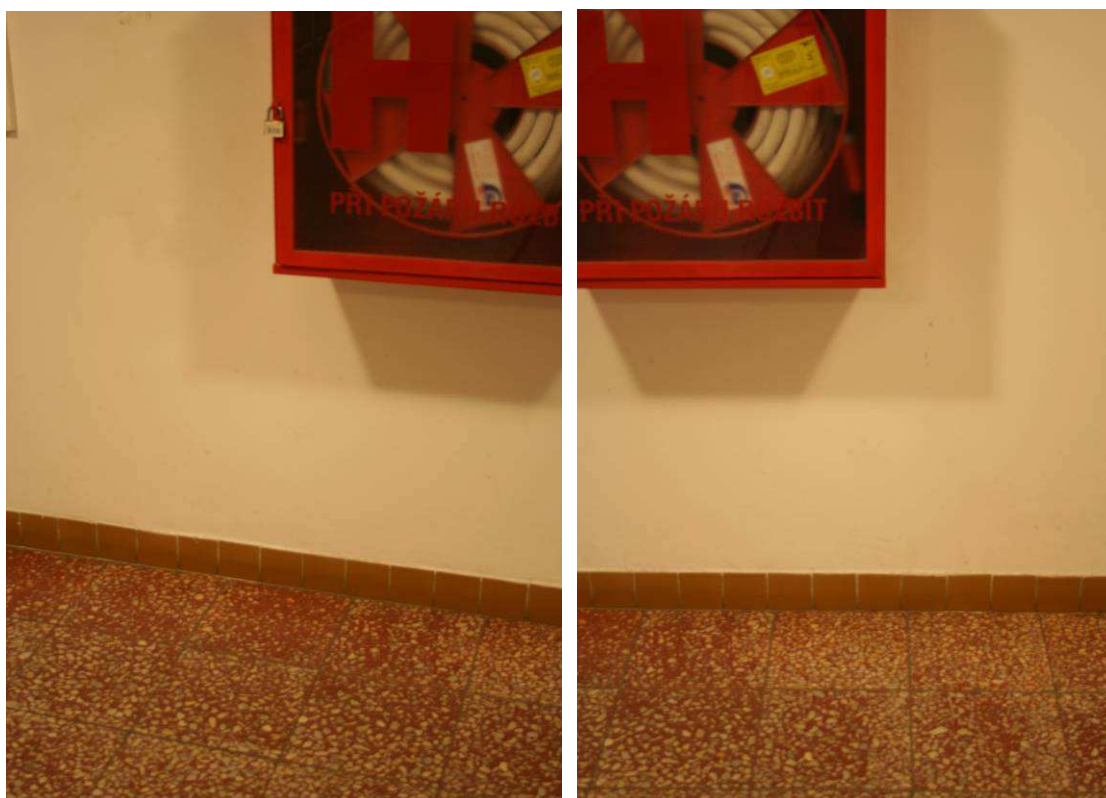
Platnička F umožňuje posúvanie v osi objektívu tak, aby sa uzlový bod nachádzal v osi otáčania hlavice.



*Obr. 2-9 Pohľad z boku na hlavicu, s naznačeným posuvom po osi objektívu*

### 3 TRANSFORMÁCIE

Pri procese skladania panorámy je nevyhnutné použitie transformácii, pretože pri postupnom otáčaní a zachytávaní jednotlivých snímok dochádza k zmenám perspektívy, otáčaniu objektov oproti tomu ako sú objekty natočené na predchádzajúcom snímku. Priame skladanie snímok po nasnímaní (bez transformácii), len preložením snímok cez seba je preto možné len za určitých okolností. Pri fotografovaní krajiny, kde fotografovaný objekt je vo veľkej vzdialenosti od objektívu, je pri použití veľkých ohniskových vzdialeností, skreslenie minimálne. V tomto prípade sa ale prejavuje zakrivenie vyvolané guľovitým tvarom zeme.



*Obr. 3-1 Chyba perspektívy, ktorá sa prejavuje v dôsledku nekonštantnej vzdialenosti objektu od statívu s fotoaparátom.*

Transformácie môžeme rozdeliť medzi lineárne a nelineárne. Medzi lineárne transformácie patria euklidovské, afínne transformácie a transformácie projektívne, a transformácie ktoré dostaneme ich zložením. Medzi nelineárne transformácie môžeme zaradiť digitálny morfining a warping. Informácie v tejto kapitole boli čerpané zo zdrojov [6], [7], [10], [11].

### 3.1 Homogénne súradnice

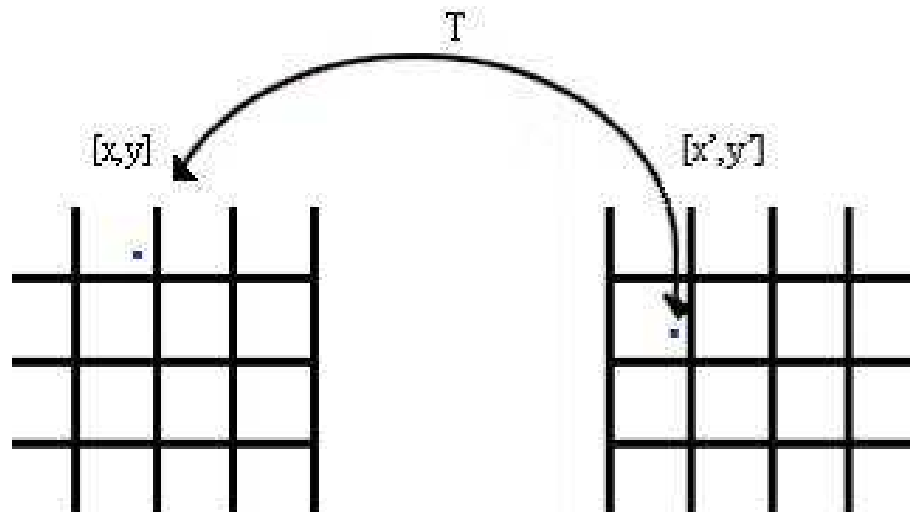
Pri transformáciách požívame reprezentáciu bodu pomocou homogénnych súradníc. To nám do značnej miery uľahčuje prácu. Homogénne súradnice umožňujú skladanie viacerých druhou transformácií do jednotnej transformačnej matice, a to pomocou operácie násobenia. V nehomogénnych súradniciach násobenie matice translácie a rotácie nebolo možné. Pri skladaní je dôležité poradie v akom sú skladané. Bod bude v homogénnych súradniciach reprezentovaný vo vektorovom priestore o jednu dimenziu vyššiu, kde 2D bod o súradniciach  $[x, y]^T$  bude v homogénnych súradniciach vyjadrený pomocou 3D vektorového priestoru  $[w \cdot x, w \cdot y, w]^T$ , kde súradnica  $w \neq 0$ , je váhou bodu a pre jednoduchosť v lineárnych transformáciách zaňho dosadzuje 1. Naopak vo výsledku potom dostaneme

$$(x', y')^T = (x'/w, y'/w)^T. \quad (3-1)$$

### 3.2 Geometrická transformácia

Bod v rovine je reprezentovaný dvojicou súradníc  $[x, y]$  z  $\mathbb{R}^2$ . Ak uvažujeme o  $\mathbb{R}^2$  ako o vektorovom priestore, tak každý bod v rovine môžeme stotožniť s vektorom typu  $1 \times 2$  vyjadreného pomocou  $\mathbf{x}$ .

Pri operáciách s maticami je nutné upozorniť na rozdiel medzi vektorom riadkovým a stĺpcovým, pretože maticu násobíme zľava riadkovým a sprava stĺpcovým vektorom. Kde  $\mathbf{x}$  bude stĺpcový vektor, a  $\mathbf{x}^T$  je riadkový vektor. Podľa toho je bod v rovine reprezentovaný stĺpcovým vektorom  $[x, y]^T$ . A môžeme napísať  $\mathbf{x} = [x, y]^T$ . Transformácia nám umožňuje prevádzať bod  $X [x, y]$  z  $\mathbb{R}^2$  pôvodného obrazu do bodu  $X' [x', y']$  výsledného obrazu, viď Obr. 3-2.



Obr. 3-2 Ukážka mapovania  $[x, y]$  do  $[x', y']$ .

### 3.2.1 Euklidova transformácia

Transformácia zahrňujúca transláciu (posun) a rotáciu. Po transformácii sú zachované uhly, dĺžky strán a rovnobežnosť strán.

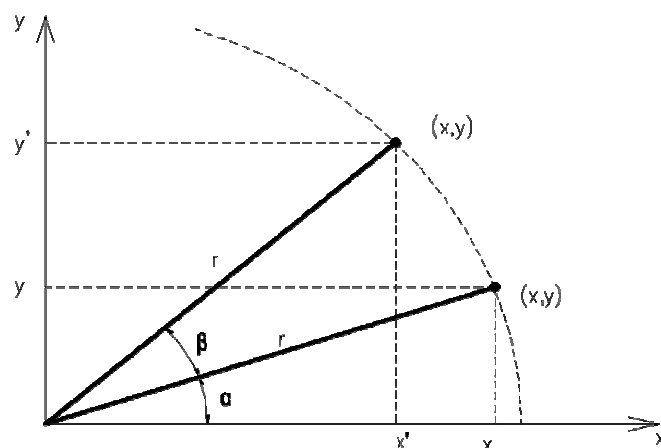
**Translácia** je zhodné zobrazenie, ktoré umožňuje posun bodu(objektu) z jednej súradnice na druhú v danej rovine. Je možné ju zapísať ako

$$\begin{aligned} x' &= x + t_x \\ y' &= y + t_y \end{aligned} \quad (3-2)$$

kde  $t_x$  a  $t_y$  sú premenné predstavujúce veľkosť posunutia a bod  $X=[x, y]^T$  transformujeme do bodu  $X'=[x', y']^T$ . Zápis vo vektorovom tvare bude mať podobu

$$\mathbf{x}' = \mathbf{x} + \mathbf{t} \text{ kde } \mathbf{t} = [t_x, t_y]^T. \quad (3-3)$$

**Rotácia** je otočenie bodu o uhol  $\beta$  vzhľadom na počiatok súradnicovej sústavy, proti smeru hodinových ručičiek.



Obr. 3-3 Rotácia bodu  $X [x, y]$  do bodu  $X' [x', y']$  okolo počiatku súradnicovej sústavy  $[0, 0]$ .

Bod  $X$  môžeme vyjadriť ako :

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \frac{x}{r}, \\ \sin \alpha &= \frac{y}{r}.\end{aligned}\tag{3-4}$$

Bod  $X'$  môžeme vyjadriť ako

$$\begin{aligned}x' &= r \cdot \cos(\alpha + \beta) = r(\cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \sin \beta) \\ y' &= r \cdot \sin(\alpha + \beta) = r(\sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta)\end{aligned}\tag{3-5}.$$

Dosadením (3-4) do (3-5). dostaneme

$$\begin{aligned}x' &= x \cdot \cos \beta - y \cdot \sin \beta \\ y' &= x \cdot \sin \beta + y \cdot \cos \beta.\end{aligned}\tag{3-6}$$

Pomocou maticového zápisu potom dostaneme

$$\mathbf{x}' = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta \\ \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \mathbf{x}.\tag{3-7}$$

Transláciu a rotáciu je možné pomocou homogénnych súradníc zlúčiť do jednej transformačnej matice  $\mathbf{T}$ . V obecnom tvare ju môžeme zapísať

$$\mathbf{x}' = \mathbf{T} \cdot \mathbf{x}\tag{3-8}$$



a pomocou maticového zápisu :

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & t_x \\ \sin \beta & \cos \beta & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (3-9)$$

Počet stupňov voľnosti pri tejto transformačnej matici bude 3, a je odvodený od jednotlivých matíc obsiahnutých v transformačnej matici (1 st. voľnosti pre rotáciu, 2 pre transláciu).

### 3.2.2 Afínna transformácia

Pri afínom zobrazení sa priamky rovnobežné, zobrazia do priamok rovnobežných avšak rovnobežnosť medzi priamkami v pôvodnom obraze a transformovanom obraze nemusí byť zachovaná. Medzi afínne geometrické zobrazenia patrí zmena mierky, skosenie a transformácia ktorá vznikne ich zložením.

**Zmena mierky (škálovanie):** prejavuje sa ako zmena celého obrazu.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3-10)$$

Kde pri  $s_x = s_y$  pomer strán ostáva zachovaný

$0 < s < 1$  dochádza k zmenšeniu obrazu

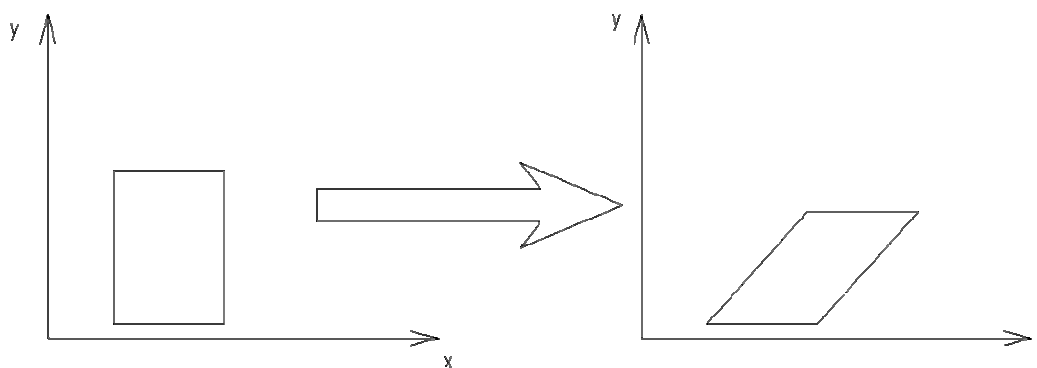
$s > 1$  dochádza k zväčšeniu obrazu

$s < 0$  dochádza k prevráteniu obrázku

**Skosenie** dochádza k deformácii objektu, zdá sa že objekt je rozdelený na vrstvy ktoré sa posúvajú v smere skosenia.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & k_x & 0 \\ k_y & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3-11)$$

Kde  $k_x$  a  $k_y$  sú faktory skosenie objektu po danej rovine.



*Obr. 3-4 Skosenie objektu v smere osi x.*

Zložením dostaneme obecnú afinnu transformáciu danú zápisom

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & k_x & t_x \\ k_y & s_y & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (3-12)$$

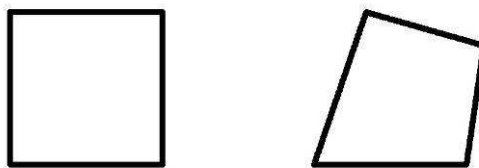
Počet stupňov voľností sa zvýšil na 6.

### 3.2.3 Perspektívna transformácia

Perspektívna alebo aj projektívna transformácia je zobecnením afínnej transformácie. Rovnobežnosť medzi vzorom a obrazom nieje zachovaná. Rovnobežky sa zobrazia ako rôznobežky. Môžeme ju zapísať ako

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{t} \\ \mathbf{v}^T & v \end{bmatrix}. \quad (3-13)$$

Vektor  $\mathbf{v}^T$  a  $\mathbf{v}$  je podobný ako váhový faktor homogénnych súradníc, v perspektívnej transformácii však môže nadobudnúť aj hodnoty rovné 0. Perspektívna matica má 9 prvkov, ale podstatný je ich pomer, a je definovaná pomocou 8 prvkov, má teda 8 prvkov voľnosti. Na jej výpočet je nutné poznať 4 korešpondujúce si body medzi 2 rovinami.



*Obr. 3-5 Projektívna transformácia.*

### 3.3 Geometrická transformácia diskrétného obrazu

V predchádzajúcom texte boli spomenuté transformácie ktoré pracovali s bodmi, alebo so spojitou reprezentáciou objektu. Pre prácu s diskrétnym obrazom ktorý predstavuje fotografiu, je len ich použitie nedostatočné, a má svoje špecifiká, ktoré budú popísane nižšie .

Majme dvojrozmerný obraz A, ten budeme transformovať na obraz B, potom danú geometrickú transformáciu môžeme zapísať pomocou funkcie  $T(u, v) = [x(u, v), y(u, v)]$ . Kde vstupy funkcie  $x(u, v)$  a  $y(u, v)$  sú súradnicami pixlov vstupného obrazu. A funkcia vráti polohu pixlu vo výslednom obraze. Bude to prebiehať pomocou mapovania, ktoré nám určuje spôsob, akým sú priradené pixely vstupného obrazu do výstupného. Mapovanie rozlišujeme dopredné (forward mapping) a spätné (backward mapping).

#### DOPREDNÉ MAPOVANIE:

- Polohu  $[x, y]^T$  určíme pomocou transformačnej matice  $\mathbf{T}$
- Súradnice vo výslednom obraze môžu ležať mimo raster.
- Dva a viac vstupných pixlov sa môže zobrazit' do rovnakého pixlu výsledného obrazu.
- Možný vznik voľných miest (dier). V prípade, že niektorým pixelom výstupného obrazu nebola priradená hodnota.
- Nutné použiť interpolačné metódy na vyplnenie voľných miest.

#### SPÄTNÉ MAPOVANIE:

- Prechádzame pixely výstupného obrazu a pre každý pixel vo výstupnom obraze  $[x', y']$  je hľadaná poloha vo vstupnom obraze  $[x, y]$  pomocou inverznej matice  $\mathbf{T}^{-1}$ , v ktorom okolí sa bude aproximovať hodnota z dostupných diskrétnych vzorkou

- Vo výslednom obraze nevznikajú diery.
- Nevýhodou je že musíme poznať maticu  $\mathbf{T}^{-1}$ .

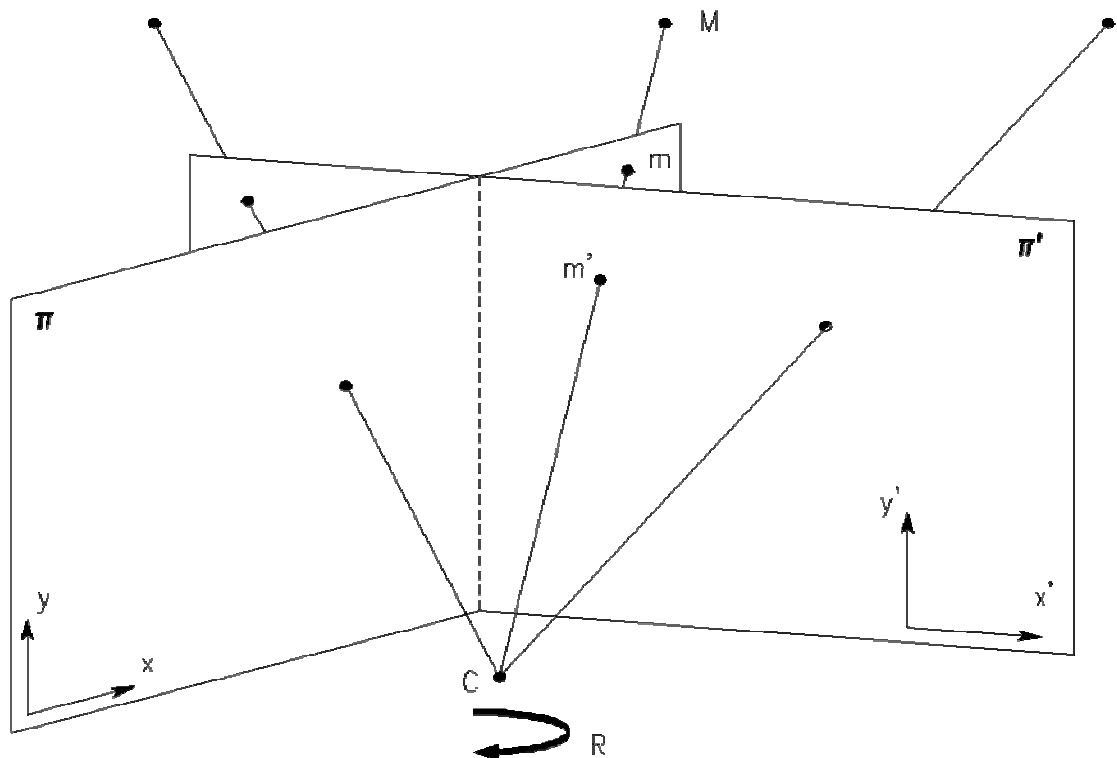
V praxi sa najčastejšie používa druhá metóda .

### 3.4 Homografia

Patrí medzi perspektívnu geometrickú transformáciu.

Homografia je využiteľná 3 spôsobmi:

1. Pri mapovaní roviny nachádzajúcej sa v 3D svetových súradniciach do obrazovej roviny kamery,
2. pri projektívnej transformácii medzi dvoma obrazmi pri zobrazovaní 3D plochy 2 kamerami,
3. pri projektívnej transformácii medzi obrazmi snímanými kamerou otáčajúcou sa okolo vstupnej pupily.



Obr. 3-7 Projektívna transformácia medzi obrazmi snímanými fotoaparátom otáčajúcim sa okolo vstupnej pupily.

Vychádzajúc z perspektívnej transformácie môžeme napísať

$$\mathbf{X}' = \mathbf{H} \cdot \mathbf{X}. \quad (3-14)$$

V maticovom zápise dostaneme

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (3-15)$$

Maticový zápis môžeme rozpísať na

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x'_1}{x'_3} = \frac{h_{11}x + h_{12}y + h_{13}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}} \\ y' &= \frac{x'_2}{x'_3} = \frac{h_{21}x + h_{22}y + h_{23}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}}. \end{aligned} \quad (3-16)$$

Pre každý korešpondujúci si pár  $(x_i, y_i)^T \rightarrow (x'_i, y'_i)^T$  potom platia po úprave vzťahov (3-16) nasledujúce homogénne rovnice

$$\begin{aligned} y'(h_{31}x + h_{32}y + h_{33}) - (h_{11}x + h_{12}y + h_{13}) &= 0, \\ x'(h_{31}x + h_{32}y + h_{33}) - (h_{21}x + h_{22}y + h_{23}) &= 0. \end{aligned} \quad (3-17)$$

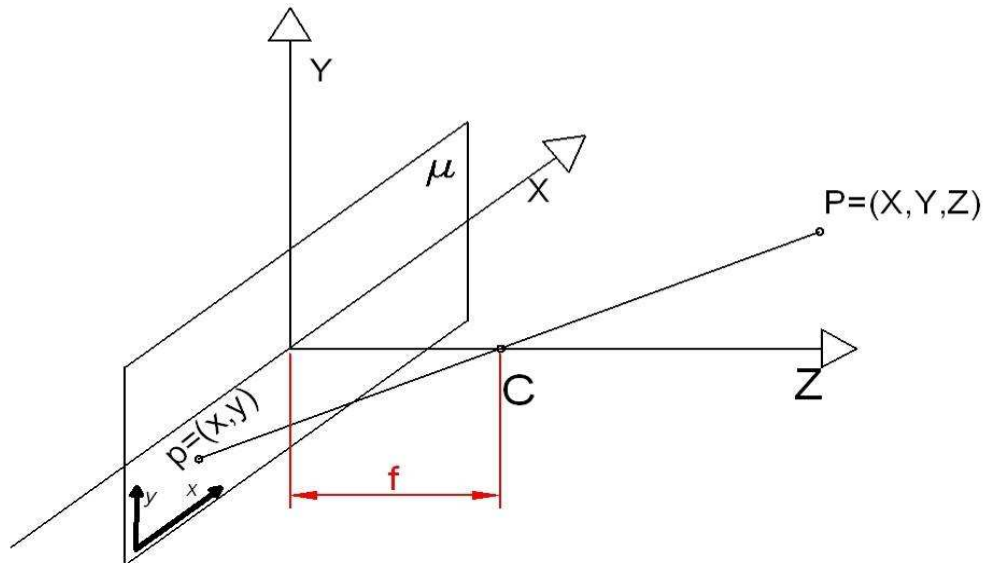
Z čoho potom môžeme odvodiť sústavu rovníc v matici

$$\begin{bmatrix} -x_1 & -x_1 & -1 & 0 & 0 & 0 & x'_1 x_1 & x'_1 y_1 & x'_1 \\ 0 & 0 & 0 & -x_1 & -x_1 & -1 & y'_1 x_1 & y'_1 y_1 & y'_1 \\ -x_2 & -x_2 & -1 & 0 & 0 & 0 & y'_2 x_2 & x'_2 y_2 & x'_2 \\ 0 & 0 & 0 & -x_2 & -x_2 & -1 & y'_2 x_2 & y'_2 y_2 & y'_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -x_n & -x_n & 1 & 0 & 0 & 0 & x'_n x_n & x'_n y_n & x'_n \\ 0 & 0 & 0 & -x_n & -x_n & -1 & y'_n x_n & y'_n y_n & y'_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \\ h_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (3-18)$$

Kde  $n$  udáva počet korešpondujúcich si bodov. Pre každý bod máme jednu rovnicu. Matica obsahujúca súradnice týchto bodov má rozmery  $2n \times 9$ , stĺpcový vektor má 8 neznámych prvkov, prvok  $h_{33}=1$ . Z toho vyplýva že minimálny počet zadaných bodov musí byť 4.

## 4 PERSPEKTÍVNA PROJEKCIA

Fotografia je dvojdimenzionálny obraz, ktorý zachytáva trojdimenzionálnej scény. Danú situáciu popisuje geometrický model dierkovej kamery (pinhole camera model), ktorý vychádza s perspektívneho premietania, pri ktorom s narastajúcou vzdialenosťou klesá priamo úmerne veľkosť predmetu. Tvorbu obrazu je znázornená na Obr. 4-1. Lúč svetla prechádza bodom  $P = (X, Y, Z)^T$  a stredom premietania  $C$  vo vzdialenosti  $f$  od roviny obrazu a dopadá na rovinu obrazu do bodu  $p = (x, y)^T$ . Kde  $f$  je ohnisková vzdialenosť objektívu. Informácie z tejto kapitoly boli čerpané z [ 6 ] .



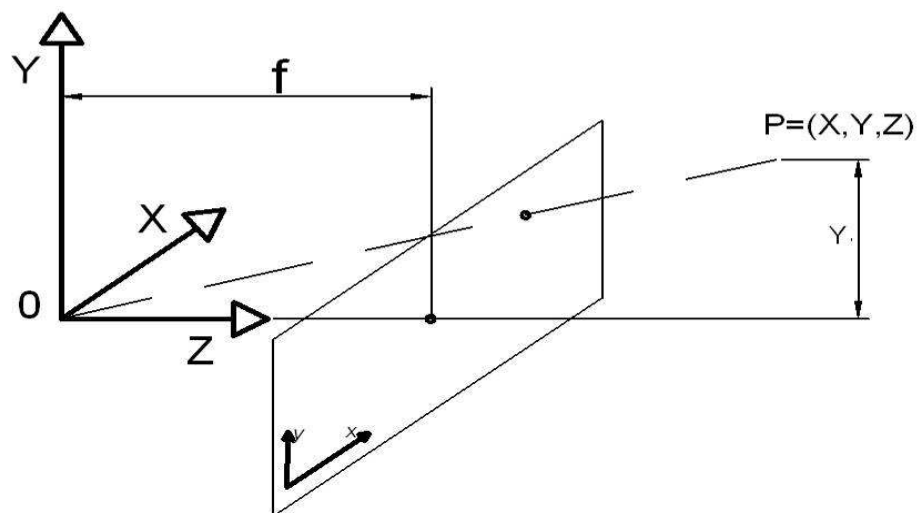
Obr. 4-1 Geometrický model dierkovej kamery

Model kamery môžeme vďaka podobnosti trojuholníkov znázorniť ako perspektívne premietanie. Kde  $C$  je stred perspektívneho premietania a je totožný so stredom kartézskej sústavy súradníc. Z Obr. 4-2 môžeme využitím podobnosti trojuholníka napísať

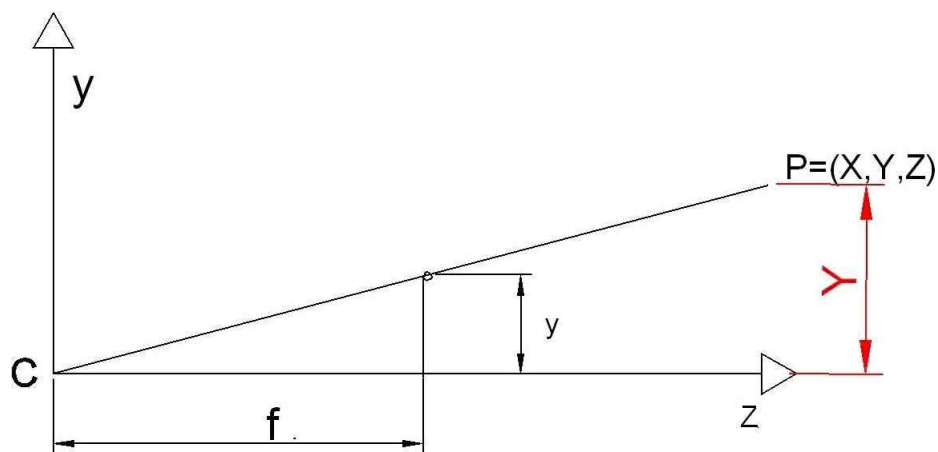
$$\frac{x}{f} = \frac{X}{Z}, \quad \frac{y}{f} = \frac{Y}{Z}, \quad (4-1)$$

Pomocou maticového zápisu dostaneme

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fX \\ fY \\ Z \end{bmatrix}. \quad (4-2)$$



Obr. 4-2 Perspektívne premietanie.



Obr. 4-3 Perspektívne premietanie v rovine XZ

Z čoho potom môžeme zapísať základnú rovnicu transformácie

$$Z \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}. \quad (4-3)$$

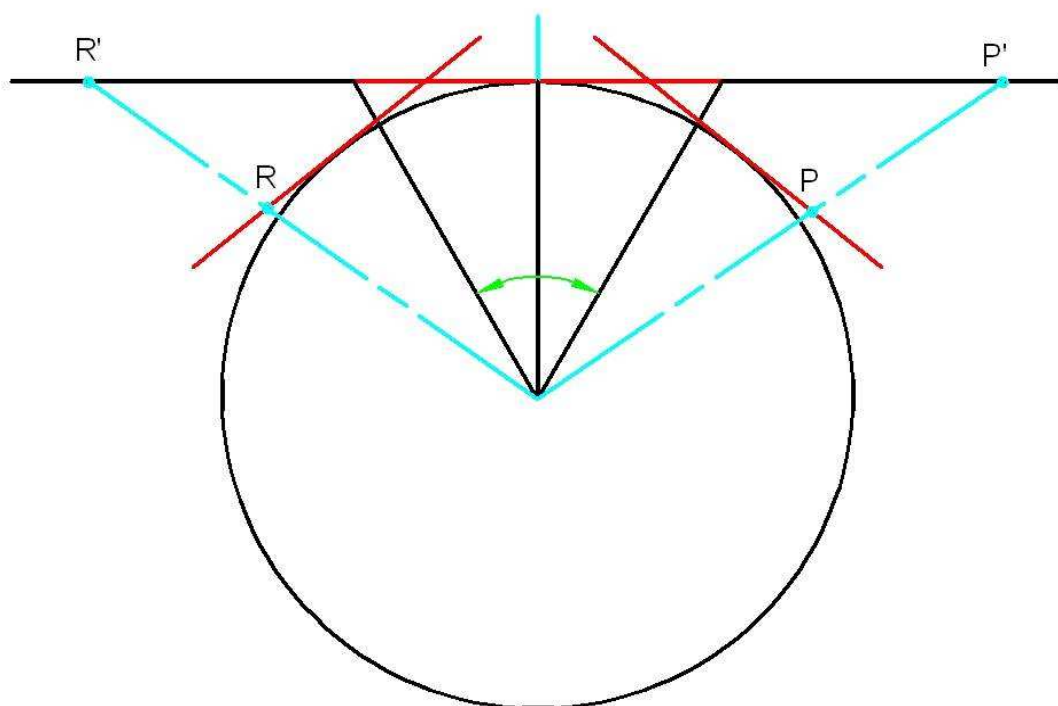
## 5 SKLADANIE SNÍMOK DO PANORÁMY

Skladanie snímok môže prebiehať viacerými spôsobmi, ktoré sa líšia náročnosťou na výpočet, veľkosťou uhla pohľadu ktorý môže byť pomocou nich zaznamenaný. Ich úspešnosť závisí od podmienok za akých boli fotky nasnímané. Jednotlivé metódy môžu rôzne deformovať výsledný obrázok. V tejto kapitole som čerpal zo zdrojov [14], [16].

Môžeme ich rozdeliť na :

1. Skladanie pomocou translácie (prípadne využitím afíných transformácií).
2. Skladanie využívajúce perspektívnu transformáciu „bow tie“, pretože výsledný tvar má tvar motýlika.
3. Skladanie ktorému predchádza prevod fotiek do valcových alebo sférických súradníc.

Prvé dva spôsoby skladaniu využívajú projekciu zachytených snímok panorámy do roviny prvého zadaného obrázku, viď Obr. 5-1. Body R a P sú transformované do bodov R' a P' ležiacich v rovine stredného obrázka.

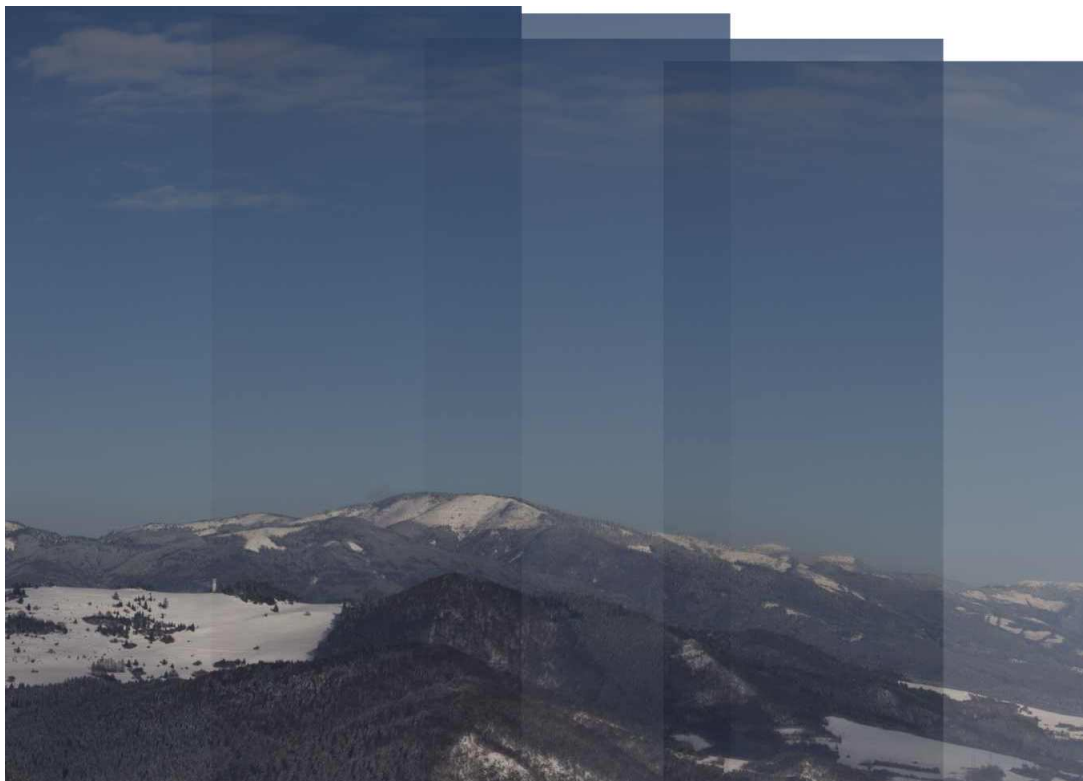


Obr. 5-1 Transformovanie snímok do jednej roviny stredného snímku

1– Skladanie len pomocou posunu v smere horizontálnom. Je možné ak sa fotografovaná scéna nachádza vo veľkej, konštantnej vzdialenosti od fotoaparátu, takže

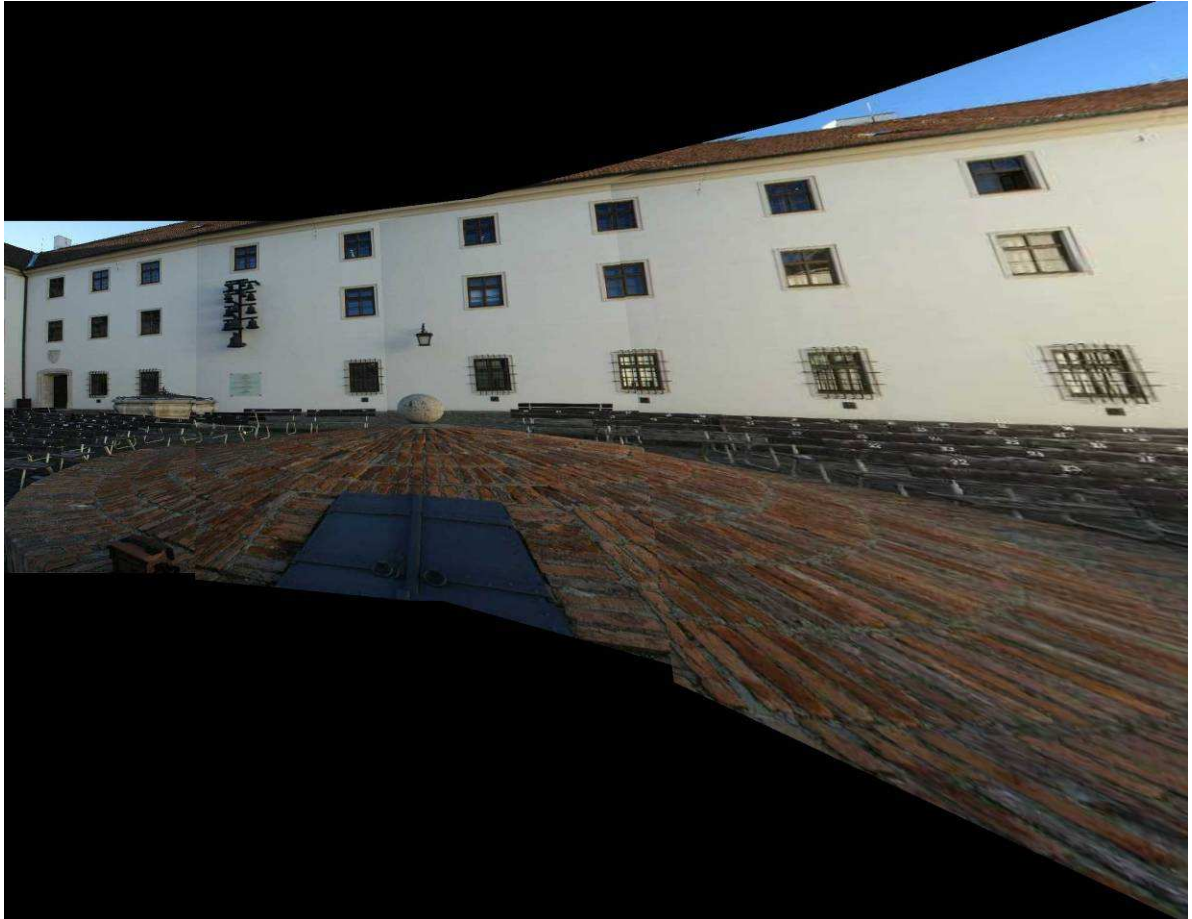


nedochádza k približovaniu sa objektov. Je to najjednoduchší spôsob skladania panorámy, použiteľný len na určité malé úseky panorámy (zachytávajúce menší uhol pohľadu). Najlepšie pri fotografiách zhotovených pri veľkých ohniskových vzdialenostiach (pomocou teleobjektívou), kde nedochádza k takému veľkému skresleniu vplyvom guľového povrchu zeme.



*Obr. 5-2 Časť panorámy ktorá vznikla posunom snímok. (Obrázok vznikol v editačnom prostredí Photoshop prekryvom vrstiev)*

2– Skladanie ktoré používa perspektívnu transformáciu, popísanú v kap.3, pri prekladaní jedného snímku cez druhý. Určí sa stredový snímok ktorý bude nemenný, podľa neho sa budú transformovať ostatné obrázky. Výsledok skladania sa mení v závislosti na počte zadanych korešpondenčných bodov a ich rozmiestnení.



*Obr. 5-3 Panoráma ktorá vznikla perspektívnou projekciou*

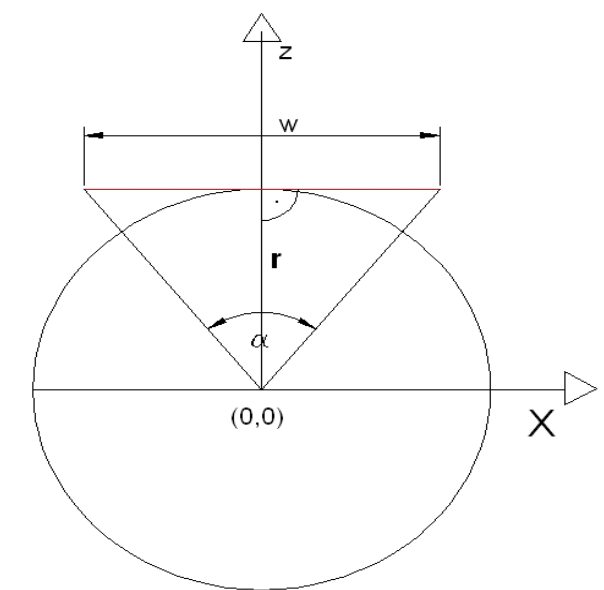
3– Pri skladaní je najskôr nutné uskutočniť prevod scény do cylindrických súradníc valca, potom spraviť transformáciu jeho povrchu na rovinu, rozvinutím. Nevýhodou tejto metódy je že deformuje rovné časti scény (priamky) a mení ich na krivky. Musíme poznať ohniskovú vzdialenosť pri ktorej bol panoráma snímaná, alebo uhol pohľadu objektívu. Potom

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{35}{2f c_p}, \quad (5-1)$$

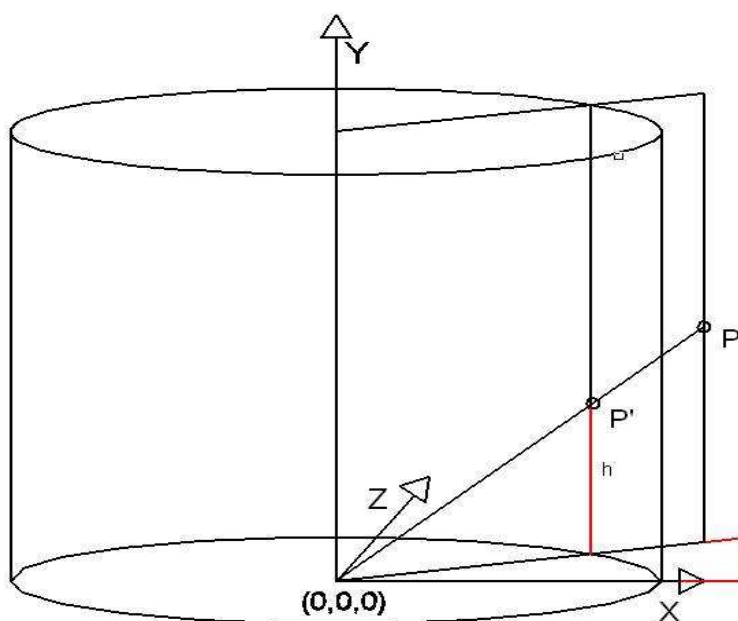
$\alpha$  je uhol pohľadu fotoaparátu,  $f$  je ohnisková vzdialenosť objektívu,  $c_p$  je crop factor- pomer veľkosti snímacieho čipu oproti kinofilmovému políčku, číslo 35 udáva šírku políčka pri kinofilme.

$$F = \frac{w/2}{\tan \frac{\alpha}{2}}, \quad (5-2)$$

kde  $w$  je šírka obrázku a výsledne  $F$  je ohnisková vzdialenosť. V nasledujúcom texte bude označené  $f$  ako ohnisková vzdialenosť daná v  $mm$ , a  $F$  ohnisková vzdialenosť v prepočte na pixle.



Obr. 5-4 Výpočet  $r = F$  pri danej šírke snímku.



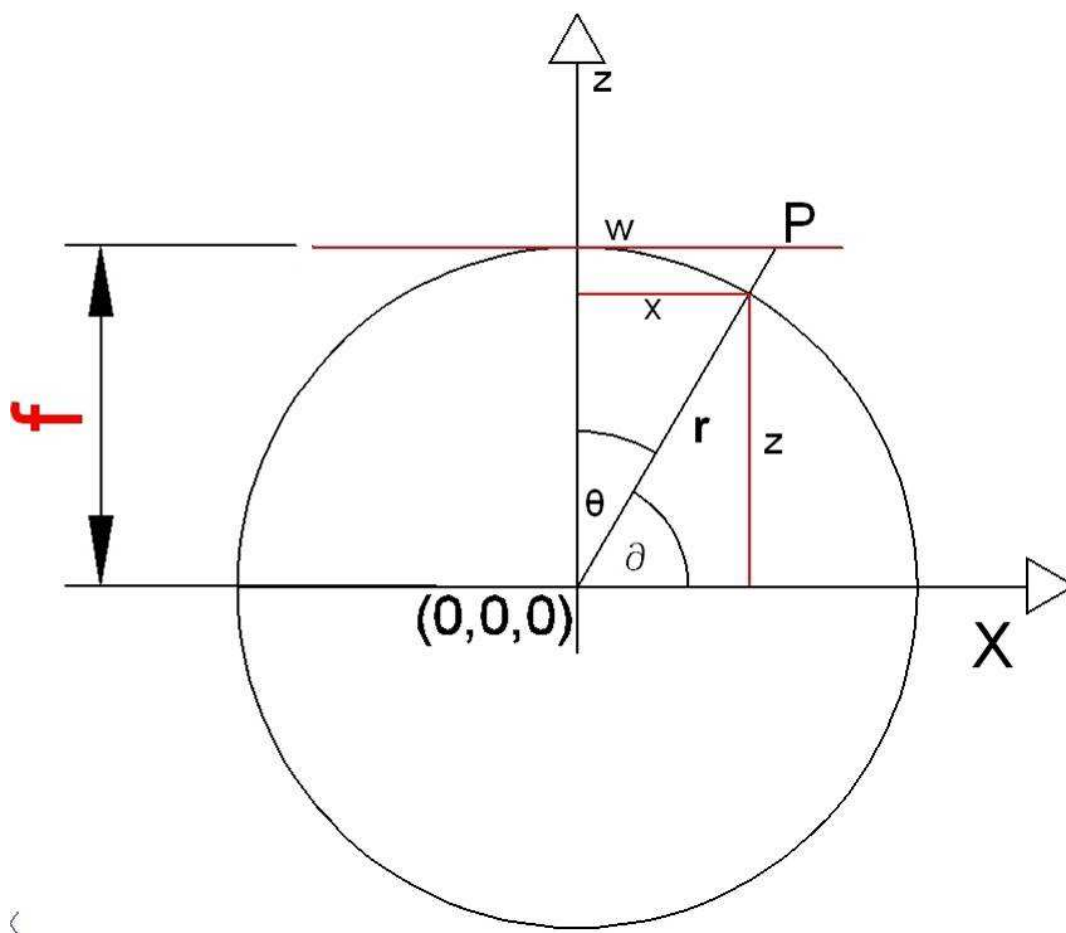
Obr. 5-5 Projekcia bodu P na povrch valca

Skladanie panorámy predstavuje situáciu znázornenú na Obr. 5-5. Chceme umiestniť scénu skladajúcu sa so skupiny nasnímaných obrázkov, do povrchu valca, následným rozvinutím vytvoríme obdĺžnikový obraz hľadanej panorámy.

V prvom kroku určíme miesto pohľadu ktoré pre zjednodušenie príkladu bude v počiatku  $\mathbf{o} (0, 0, 0)$ . Následne musíme previesť obraz zo svetových súradníc do súradníc cylindrických. Mapujeme bod  $P = (x, y, z)^T$  na súradnice cylindrické  $P' = (\theta, h)^T$ . Pri nasledujúcich výpočtoch dosadzujeme za súradnicu  $z = F$ , snímok sa nachádza v rovine kolmej na polomer ako je to znázornené na Obr. 5-4.

V nasledujúcom kroku je nutné nájsť priesečník priamky prechádzajúcej od stredu premietania  $\mathbf{o} (0,0)$ , do obrazovej roviny obrazu. Umožní nám to rozdelenie výpočtu na 2 časti:

- V prvej časti vypočítame priesečník kruhu s úsečkou v rovine XZ.



Obr. 5-6 Priesečník kruhu a úsečky v rovine XZ.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{x}{z} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{x - x_{st}}{\sqrt{x^2 + z^2}} \right). \quad (5-3)$$

$x_{st}$  a  $y_{st}$  sú súradnice stredu pôvodného obrázka.

- V druhej časti vypočítame priesečník v rovine XY - ako priesečník úsečky s plášťom valca

$$h = \left( \frac{y - y_{st}}{\sqrt{x^2 + z^2}} \right). \quad (5-4)$$

Kde  $\theta$  je uhol otočenia, a  $h$  je výška vo valci (riadok valca). Obdobne môžeme previesť P do sférických súradníc  $(\theta, \phi)$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{x - x_{st}}{y} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{x - x_{st}}{\sqrt{x^2 + z^2}} \right), \quad (5-5)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{y - y_{st}}{\sqrt{x^2 + z^2}} \right). \quad (5-6)$$

Kde  $\theta$  je uhol horizontálny,  $\phi$  je uhol vertikálny.

Ďalej je nutné rozvinúť plochu valca, aby sme dostali chcený obraz

$$\begin{aligned} x_{cyl} &= \theta f + x_{st} \\ y_{cyl} &= h f + y_{st} \end{aligned} \quad (5-7)$$

$x_{cyl}$  a  $y_{cyl}$  sú súradnice výsledného obrázka.

## 6 SOFTWAREVÉ SKLADANIE SNÍMOK

K skladaniu snímky bolo použité vývojové prostredie Microsoft Visual studio 2008, pomocou implementovanej Open Source knižnice OpenCV 1.0. Je napísaná v jazyku C a C++, je možné ju použiť pod systémami Linux, Windows a Mac OS X. OpenCV bola vyvinutá pre prácu s pohyblivým alebo statickým obrazom. Umožňuje načítanie nasledujúcich formátov: Windows bitmaps – (BMP, DIP), JPEG files (JPEG, JPG, JPE), JPEG 2000 (jp2), Portable Network Graphics (PNG).

OpenCV knižnica sa skladá z funkcií ktoré sú obsiahnuté v nasledujúcich moduloch:

- HighGUI – obsahuje užívateľské prostredie GUI, funkcie pre uloženie a volanie obrazu a videa.
- CV – obsahuje funkcie na spracovanie obrazu, jeho pohyb a sledovanie, rozpoznanie vzoru, a kalibráciu kamery.
- CXCORE – obsahuje základné dátové štruktúry, operácie s maticami, transformáciu dát, hospodárenie s pamäťou, dynamické načítanie kódu.
- CVAUX – obsahuje doplnujúce funkcie.

V tejto kapitole som vychádzal z dokumentácie k OpenCV a [2], [12], [13].

### 6.1 Korešpondenčné body

Po načítaní a zobrazení 2 obrázkov v príslušných oknách je nutné zadať korešpondujúce si body, čiže body ktoré označujú body, spoločné pre obidve fotky. Funkcia ktorá zachytáva volanie : `cvSetMouseCallback` nachádza sa v module HighGui, volá sa príkazom:

```
cvSetMouseCallback(  
  
    const char* window_name,  
    CvMouseCallback mouse,  
    void* param=NULL    );
```

Prvým parametrom je názov okna v ktorom majú byť udalosti zachytávané udalosti.

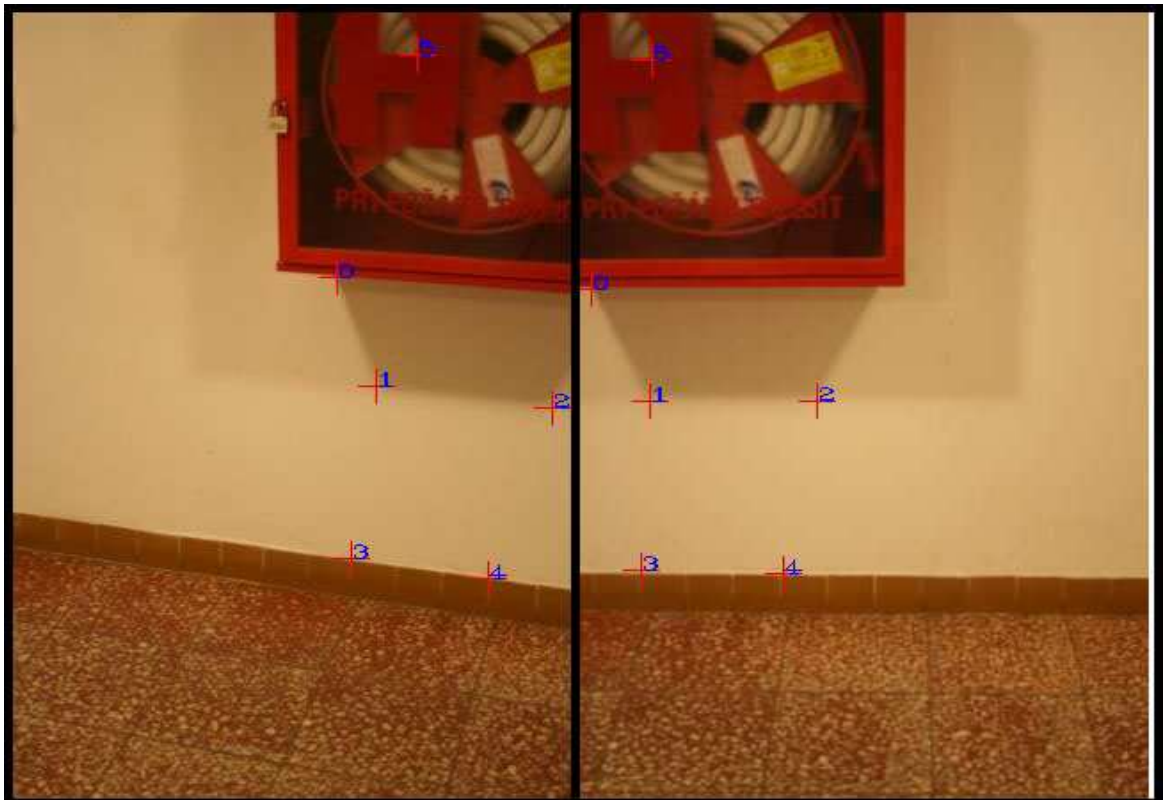
Druhým parametrom je volaná funkciu ktorá má byť volaná, vždy keď je v príslušnom okne prebehne daná udalosť

Posledným parametrom je užívateľom nedefinovaný parameter. Ktorý má byť predaný volanej funkcii. Funkcia, ktorú volá `cvSetMouseCallback` je definovaná nasledovne:

```
void mouse(  
  
            int event,  
            int x,  
            int y,  
            int flags,  
            void* param = NULL    );
```

Prvý parameter udáva na akú udalosť myšky má funkcia reagovať (pohyb myšky, stlačenie ľavého / pravého tlačidla, a podobne).

Ďalšie 2 parametre udávajú súradnicu  $x$  a  $y$  miesta v obrázku na ktorom bola vyvolaná príslušná udalosť. Nasledujúci parameter môže obsahovať tlačidlo ktoré bolo stlačené pri vyvolaní udalosti (držanie SHIFT, CTRL, ALT).



*Obr. 6-1 Korešpondenčné body, zadané pomocou funkcie mouse.*

Minimálny počet bodov ktorý je nutné zadať je 4, s narastajúcim počtom bodov sa však zlepšuje presnosť s akou je vypočítaná homografia a následne uskutočnená transformácia. Najlepšie výsledky sú dosahované pri počte bodov 12 a viac. Body by

mali byť rozmiestnené rovnomerne po celej výške a šírke spoločného úseku fotiek, ako je približne ukázane na Obr. 6-1.

## 6.2 Homografia

Po zadání dostatočného počtu bodov(  $N > 4$  ) prebieha výpočet homografie ktorý bol približený v 3.4. Funkcia ktorá vypočíta maticu homografie je `cvFindHomography` a jej definícia je:

```
cvFindHomography (
    const CvMat* src_points,
    const CvMat* dst_points,
    CvMat* homography,
    int method=0,
    double ransacReprojThreshold=0,
    CvMat* mask=NULL );
```

V prvých 2 argumentoch sú zadané súradnice bodov zdrojového a cieľového obrázku v tvare matice  $2 \times N$ ,  $N \times 2$ ,  $3 \times N$ ,  $N \times 3$ , kde  $N$  je počet bodov. Tretím argumentom je matica, do ktorej bude uložená vypočítaná matica homografie. Nasledujúcim parametrom je metóda, pomocou ktorej má byť matica vypočítaná. Môže to byť:

0 – štandardná metóda najmenšieho štvorca, pri výpočte používa všetky páry bodov.

Nasledujúce metódy sú robustnejšie, skúšajú náhodne podmnožiny korešpondujúcich si párov bodov a porovnávajú kvalitu homografie ktorá pomocou nich vyjde. Pri výslednom výpočte nemusia byť použité všetky zadané body.

CV\_RANSAC – metóda RANSAC

CV\_LMEDS - metóda Least-Median.

Predposledným argumentom je `ransacReprojThreshold`, Je používaný len pri metóde RANSAC, určuje maximálny počet chýb pri mapovaní, mal by byť nastavený v intervale  $<1,10>$ . Posledný argument udáva možnú výstupnú masku nastavenú pri metódach RANSAC a LMEDS.

## 6.3 Perspektívna transformácia



Po tom, ako získame maticu homografie, môžeme ju použiť pri perspektívnej transformácii, ktorá je definovaná nasledovne:

```
void cvWarpPerspective (
    const CvArr* src,
    CvArr* dst,
    ConstCvMat* map_matrix,
    flags=0,
    CvScalar fillval=cvScalarAll(0) );
```

Ako prvé dva argumenty sú vstupný a výstupný obrázok. Tretím argumentom je transformačná matica  $3 \times 3$ , v našom prípade vypočítaná matica homografie. Nasledujúcim argumentom je flag, udáva interpolačnú metódu

CV\_WARP\_FILL\_OUTLIERS vyplní časti výsledného obrazu ktorá nebola vyplnená pri transformácii hodnotou fillval.

CV\_WARP\_INVERSE\_MAP oznamuje že matica udáva inverznú transformáciu, z cieľového do zdrojového obrázku a pixely môžu byť interpolované priamo. Inak, musí funkcia najskôr nájsť inverznú maticu .



*Obr. 6-2 Výsledný obrázok ktorý vznikol perspektívnou transformáciou druhého obrázku, a jeho prekrytím prvého obrázku.*

## 7 ZÁVER

V tejto bakalárskej práci bola spracovaná problematika snímania panoramatickej fotografie.

V teoretickej časti práce boli popísané kroky, ktoré je vhodné pri snímaní panorámy dodržiavať, aby pri neskoršom skladaní snímok nevznikali nežiaduce artefakty. V ďalšej kapitole je popísané nastavenie panoramatickej hlavice Manfrotto 303SPH pomocou ktorej sa mi podarilo úspešne odstrániť, v panoráme nežiaducu, chybu paralaxy. V nasledujúcich kapitolách boli rozobraté základne matematické transformácie, ktoré sú zhrnuté do jednej transformačnej matice – matice homografie. Tá je zovšeobecnením perspektívnej transformácie, a je základnou operáciou využívanou pri výpočtoch medzi vzájomne korešpondujúcimi si bodmi spájaných snímok.

Cieľom praktickej časti bola tvorba aplikácie, ktorá umožní skladanie popísané v teoretickej časti. Aplikácia je určená pre operačný systém Windows. Je napísaná v jazyku C++ s využitím knižnice OpenCV a pracuje z príkazového riadku. Umožňuje vytvorenie panorámy v rovine, pomocou perspektívnej transformácie a prevodom do cylindrických alebo sférických súradníc. Nevýhodou daného riešenia je nutnosť zadávať viac ako 10 korešpondenčných bodov ručne, čo je časovo náročné, nepresné a prináša veľkú chybu pri nadväzovaní jednotlivých snímok pri skladaní. Vzniknutá chyba sa len prehlbuje spájaním ďalších snímok. Problémom môže byť aj situácia keď fotografovaná scéna neobsahuje presne definovateľné korešpondenčné body. Počet načítaných snímok je obmedzený operačnou pamäťou a ich množstvo výrazne klesá pri väčších rozlíšeniach. Pri skladaní cylindrickej panorámy ich je treba približne 20 na jeden riadok, pri ohniskovej vzdialenosti 18 mm. Pre sférickú panorámu je to približne 100 snímok.

Ďalším vylepšením tejto práce by bolo zautomatizovanie hľadania korešpondenčných bodov pomocou metód na detekciu hrán alebo algoritmu SHIFT.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Dolejší, T.: Editace digitální fotografie: Panoramatická Fotografie, Computer Press, a.s. ,2009, Česká republika, Brno , ISBN:978-80-251-2324-9
- [2] BRADSKI G., KAEHLER A.: Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, O'Reilly Media, Inc. USA 2008, ISBN: 978-0-596-51613-0
- [3] HOUGHTON, J., [online]. 2009- 12-25 Dostupné z WWW:  
<<http://www.johnhpanos.com/epcalib.htm> >
- [4] WALKER, T., [online] Dostupné z WWW:  
<<http://toothwalker.org/optics/cop.html#ref2>>
- [5] Manuál Manfrotto 303SPH. Italy 2004
- [6] ŘÍHA, K.: Pokročilé techniky zpracování obrazu, Elektronické texty VUT, Ústav telekomunikací FEKT VUT v Brně, 2007, 120 s
- [7] ŘÍHA, K.: Poznámky k Homografii, doplňkový studijní text předmětu pokročilé techniky zpracování obrazu, Elektronické texty VUT, Ústav telekomunikací FEKT VUT v Brně, 2007. 5s
- [8] GONZALEZ R. C., WOODS R. E.: Digital Image Processing, Prentice Hall, New Jersey, 2002
- [9] PRATA S.: Mistrovství v C++, Computer Press, Brno 2004, ISBN 80-251-0098-7
- [10] Hlavač, V., [online] Dostupné z WWW:  
<<http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/11DigZprObr/18BrightGeomTxCz.pdf>>
- [11] ŽÁRA, J. : Moderní počítačová grafika / Vyd 1. Brno : Computer Press, 2004. 609 s. ISBN 80-251-0454-0
- [12] Open Source Computer Vision Library, Intel Corporation, U.S.A., A77028-004
- [13] OpenCV 2.0 C Reference Manual, [online] Dostupné z:  
< [http://opencv.willowgarage.com/documentation/image\\_processing.html](http://opencv.willowgarage.com/documentation/image_processing.html) >
- [14] SHUM, Heung-Yeung; SZELISKI, Richard.: Panoramic Image Mosaics, 1992 MSR-TR-97-23.
- [15] BERCOVITZ, John. : IMAGE-SIDE PERSPECTIVE AND STEREOSCOPY 1998 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z  
< <http://www.angelfire.com/ca2/tech3d/images/persp.pdf> >

- [16] IDE, Kai, KUNTER, Matthias, SIKORA, : Thomas Fast Generation of Cylindrical Panoramic Views from Free-Hand Video Sequences. In [online]. Berlin :[cit. 2010-04-25]. Dostupné z WWW: [elvera.nue.tu-berlin.de/files/1209Ide2009.pdf](http://elvera.nue.tu-berlin.de/files/1209Ide2009.pdf)

## **Príloha 1**

CD-rom nosič

Na priloženom CD-rom sú k dispozícii:

1. Bakalársku prácu
2. Spustiteľnú aplikáciu
3. Dokumentáciu k priloženému programu
4. Zdrojové kódy k priloženej aplikácii
5. Obrázky využiteľné pri skladaní panorámy